

КОЭФФИЦИЕНТ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕФТИ ДЛЯ ДВОЙКОПЕРИОДИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗАВОДНЕНИЯ

А. Е. Касаткин

Самарский Государственный Университет
darantion_yar@mail.ru

Вторичные интенсивные методы добычи нефти в настоящее время остаются наиболее перспективными в нефтяной промышленности: их высокая эффективность связана, в первую очередь, с нагнетанием в нефтеносный пласт т.н. вытесняющих агентов, восстанавливающих упавшее пластовое давление и выталкивающих нефть из породы. Исторически первым вторичным методом, случайно открытым в середине 1860-х гг., стало заводнение [1]. Новая технология активно испытывалась в течение перв. пол. XX в. на территории США и СССР: к настоящему времени известны несколько десятков схем размещения добывающих и нагнетательных скважин [2] на месторождении, а также приемов повышения нефтеотдачи пластов. В современных условиях заводнение обеспечивает 50% добываемой США нефти [1].

Прогнозирование хода заводнения, оценка качественных и количественных характеристик процесса при использовании различных схем расстановки скважин – цель настоящего исследования.

Одной из важнейших характеристик, используемых в рассматриваемой технологии и в нефтедобыче в целом, является Коэффициент Извлечения Нефти (КИН). Этот параметр можно определить как отношение площади зоны, охваченной заводнением, к площади всего рассматриваемого участка [3]: подсчитанный на определенном этапе процесса, данный коэффициент позволяет оценить объемы нефтяных запасов, недоступных для обработки нагнетаемой водой при выбранном расположении скважин. Построение алгоритма подсчета КИНа и его использование для сравнительного анализа различных схем заводнения – главная задача исследования: результаты расчетов могут учитываться при проектировании процесса нефтедобычи на реальном месторождении.

Для выполнения поставленной задачи требовалось построить модель распространения нагнетаемой воды по пласту, и далее разработать алгоритм подсчета занимаемой ею (водой) площади. В рамках настоящей работы исследовались двойкопериодические схемы заводнения: при их использовании месторождение покрывается «сеткой» из повторяющихся наборов добывающих и нагнетательных скважин, образуя тем самым некое подобие решетки с однотипными ячейками. Подобные модели изучались в ряде работ [4], [5]: в указанных трудах нефтеносный пласт представлялся комплексной плоскостью, покрытой двойкопериодической решеткой с добывающими и нагнетательными скважинами в ячейках. При этом главная математическая задача в работе [5] заключалась в трассировке течения нагнетаемой воды по времени t для различных схем заводнения: соответствующая система уравнений приведена ниже.

$$\left. \begin{aligned} m \frac{\partial \bar{z}}{\partial t} &= \bar{v}(z); \\ z_{t=0} &= z_0 + r_w e^{i\theta}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь m – пористость пласта, r_w и z_0 – соответственно, радиус и центр призабойной зоны нагнетательной скважины. Угол θ использовался для постановки начальных условий, а шаг $\Delta\theta$ – для задания числа трассируемых траекторий. Согласно [5], граница ВНК в выбранный момент времени формируется из решений нескольких задач Коши (1): функция скорости $v(z, \bar{z})$, использованная в работе, приведена ниже:

$$\bar{v}(z) = -\sum_{u=1}^{n_1} \frac{Q_u^{(prod)}}{2\pi} (\zeta(z-z_u, \overline{z-z_u}) + a(z-z_u) - \beta \overline{z-z_u}) + \sum_{w=1}^{n_2} \frac{Q_w^{(inject)}}{2\pi} (\zeta(z-z_w, \overline{z-z_w}) + a(z-z_w) - \beta \overline{z-z_w}). \quad (2)$$

Здесь $\zeta(z, \bar{z})$ - дзета-функция Вейерштрасса [4]; $\beta = \frac{\pi}{\Delta}$ и $\alpha = \frac{\beta\bar{\omega} - 2\zeta(\omega/2)}{\omega}$ - числовые параметры, обеспечивающие двоякопериодичность [4]; Δ - площадь ячейки; h - толщина пласта (фиксированная), ω - узел некоторой решетки L ($\omega = m\omega_1 + n\omega_2/m, n \in Z$); n_1 и n_2 - число добывающих (мощности Q_u) и нагнетательных (мощности Q_w) скважин соответственно, размещенных в точках z_u и z_w (u и w - индексы сумм).

Важной задачей также стала разработка алгоритма для вычисления занятой водой площади: при этом подсчитываемая область представляла собой набор точек - «следов», оставленных частицами нагнетаемой жидкости при движении через пласт. На рис.1 представлена схема вычисления площади произвольного четырехугольника, образованного четырьмя «следами» воды в моменты времени t_k (точки $Z(i,k)$ и $Z(i+1,k)$) и t_{k+1} (точки $Z(i,k+1)$ и $Z(i+1,k+1)$). Благодаря гладкости границы ВНК, которая сохраняется вплоть до момента прорыва воды в добывающие скважины, заводненый участок можно аппроксимировать набором выпуклых четырехугольников, подобных $Z_I^K Z_{I+1}^K Z_{I+1}^{K+1} Z_I^{K+1}$, и далее подсчитать КИН по формуле для площади S .

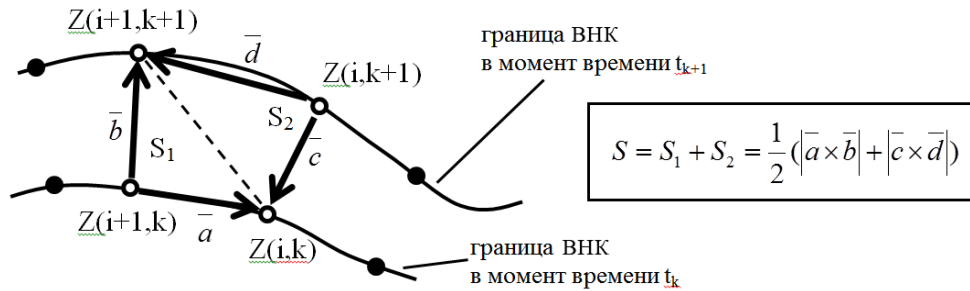


Рис.1 Вычисление площади S произвольного четырехугольника.

Ниже приведена часть таблицы со значениями КИНа, подсчитанными для нескольких известных схем заводнения: для сравнения была добавлена отдельная колонка с экспериментальными данными других авторов.

Схема расстановки скважин	КИН (Результаты расчетов)	КИН (графики Ф.Крэйга)
Пятиточечная обращенная	71%	70%
Семиточечная обращенная	74%	73%
Лобовая рядная	57%	58%

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-03-97008-р_поволжье_a.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крэйг, Ф.Ф. Разработка нефтяных месторождений при заводнении. Нью-Йорк, 1971.
2. Горбатилов В.А., Костюченко С.В., Пальянов А.П. Технология дискретных закачек - основа для модернизации систем ППД и совершенствования методов заводнения нефтяных залежей // Вестник инжинирингового центра ЮКОС. 2001. №2. С. 47.
3. Уолкотт Д. Разработка и управление месторождениями при заводнении. М., 2001.
4. Касаткин А.Е. Моделирование процессов заводнения с помощью эллиптических функций Вейерштрасса // тез. докл. Науч. конф. «Лобачевские чтения». 2012. С. 96-100.
5. Астафьев В.И., Ротерс П.В. Моделирование двоякопериодических систем добывающих скважин // Вестник СамГУ. 2010. № 4 (78). С. 5-10.